

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

**(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum**  
Internationales Büro



**(43) Internationales Veröffentlichungsdatum**  
**1. April 2004 (01.04.2004)**

**(10) Internationale Veröffentlichungsnummer**  
**WO 2004/027529 A1**

**(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G05B 19/042**

**(21) Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2003/001904

**(22) Internationales Anmeldedatum:**  
10. Juni 2003 (10.06.2003)

**(25) Einreichungssprache:** Deutsch

**(26) Veröffentlichungssprache:** Deutsch

**(30) Angaben zur Priorität:**  
102 42 790.9      14. September 2002 (14.09.2002)      DE

**(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).**

**(72) Erfinder; und**

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KUEHN, Willi  
[DE/DE]; Benzstrasse 2, 71706 Markgroeningen (DE).

**STUIBLE, Ewald** ~~[DE/DE]~~; Am Blaichberg 11, 71735 Eberdingen (DE). **FACKLER, Rupert** ~~[DE/DE]~~; Im Inneren Sol 3, 74385 Pleidelsheim (DE). **KLEIN, Christian** ~~[DE/DE]~~; Lilienweg 5, 71739 Oberriexingen (DE). **GUSSMANN, Bernd** [DE/DE]; Meisenweg 61, 71083 Herrenberg (DE). **SCHWIENSTEK, Christian** ~~[DE/DE]~~; Leipziger Strasse 50, 74172 Neckarsulm (DE). **MUELLER-VOGT, Ingo** [DE/DE]; Boennigheimer Strasse 52, 70435 Stuttgart (DE).

**(74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH;**  
Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

**(81) Bestimmungsstaaten (*national*):** CN, JP, US.

**(84) Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

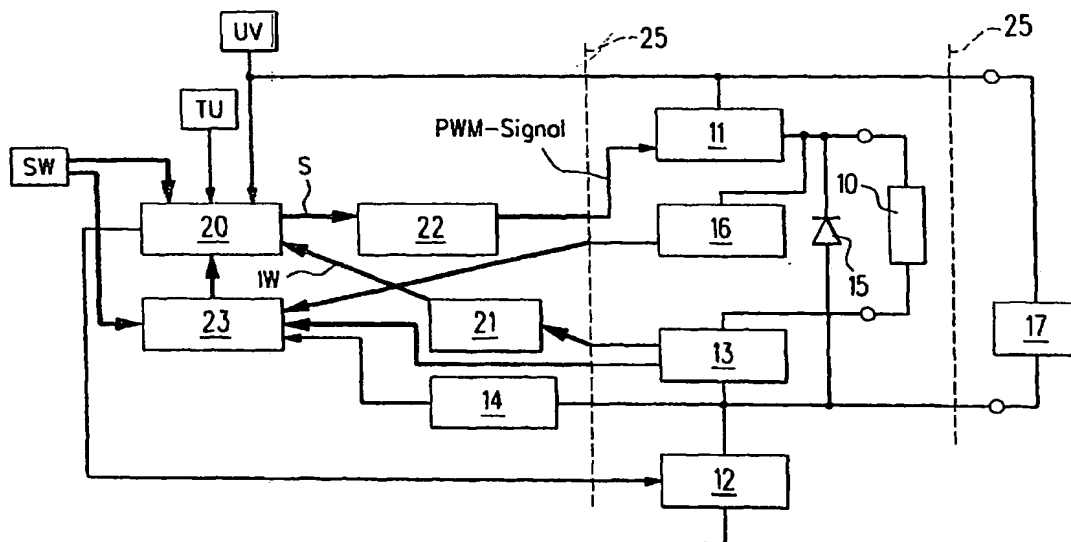
**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE CURRENT FLOWING THROUGH AN ELECTROMAGNETIC ACTUATOR**

**(54) Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM REGELN DES STROMS DURCH EIN ELEKTROMAGNETISCHES STELLGLIED



**(S7) Abstract:** The invention relates to a method for regulating the current flowing through an electromagnetic actuator (10). The actuator (10), a first switch (11) and a current measuring circuit (13) form a series connection. A freewheeling diode (15) is connected in parallel to the actuator (10). The first switch (11) is closed and opened by a regulation (20) and a pulse generation (22) by means of a PWM signal (PWM = pulse width modulation) in such a manner that the current, which is flowing through the actuator (10) and which is measured by the current measuring circuit (13), is regulated to a set value (SW). The duration of a switching-on and switching-off cycle of the PWM signal is altered, and a so-called dither function provided in the form of a low-frequency oscillation is superimposed onto the PWM signal.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**WO 2004/027529 A1**



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied (10) beschrieben. Das Stellglied (10), ein erster Schalter (11) und eine Strommessschaltung (13) bilden eine Serienschaltung. Dem Stellglied (10) ist eine Freilaufdiode (15) parallelgeschaltet. Der erste Schalter (11) wird von einer Regelung (20) und einer Pulsgenerierung (3G) mittels eines PWM-Signals (PWM = Pulsweitenmodulation) derart geschlossen und geöffnet, dass der von der Strommessschaltung (13) gemessene, durch das Stellglied (10) fließende Strom auf einen Sollwert (SW) geregelt wird. Die Zeitdauer eines Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals wird verändert, und es wird dem PWM-Signal eine sogenannte Dithherfunktion in der Form einer niederfrequenten Schwingung überlagert.

5

10 Verfahren zum Regeln des Stroms durch ein  
elektromagnetisches Stellglied

Stand der Technik

15

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied, wobei das Stellglied, ein erster Schalter und eine Strommessschaltung eine Serienschaltung bilden, wobei dem Stellglied (10) eine  
20 Freilaufdiode parallelgeschaltet ist, und wobei der erste Schalter von einer Regelung und einer Pulsgenerierung mittels eines PWM-Signals (PWM = Pulsweitenmodulation) derart geschlossen und geöffnet wird, dass der von der Strommessschaltung gemessene, durch das Stellglied  
25 fließende Strom auf einen Sollwert geregelt wird.

Ein derartiges Verfahren ist allgemein bekannt. Bei der dem Verfahren zugrundeliegenden elektrischen Schaltung wird das PWM-Signal mit Hilfe des ersten Schalters in einen  
30 Strom über das Stellglied umgesetzt. Im geschlossenen, wie

auch im geöffneten Zustand des ersten Schalters wird der über das Stellglied fließende Strom von der Strommessschaltung gemessen. Auf dieser Grundlage wird der für die Regelung dieses Strom erforderliche Vergleich mit  
5 dem vorgegebenen Sollwert durchgeführt.

Ein Problem der bekannten Regelung besteht darin, dass das elektromagnetische Stellglied üblicherweise eine Hysterese aufweist. Dies führt beispielsweise beim Einsatz des  
10 Stellglieds bei einer Getriebesteuerung eines Kraftfahrzeugs dazu, dass exakte Schaltvorgänge des Getriebes aufgrund von aus der Hysterese resultierenden Ungenauigkeiten der Regelung nicht mehr ohne weiteres durchführbar sind.

15

#### Aufgabe, Lösung und Vorteile der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied zu  
20 schaffen, das eine höhere Genauigkeit der Regelung ermöglicht.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die  
25 Zeitdauer eines Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals verändert wird, und dass dem PWM-Signal eine sogenannte

Ditherfunktion in der Form einer niederfrequenten Schwingung überlagert wird.

Die Veränderung der Zeitdauer eines Ein- und Ausschaltzyklus stellt eine Veränderung der sogenannten Chopperfrequenz des PWM-Signals dar. Durch eine derartige Veränderung der Chopperfrequenz ist es möglich, ein sogenanntes Sitzprellen des elektromagnetischen Stellglieds zu vermindern. Ebenfalls ist es möglich, die Hysterese des Stellglieds insbesondere im mittleren Strombereich durch eine Verminderung der Chopperfrequenz zu reduzieren. Die Chopperfrequenz kann temperaturabhängig gewählt werden, so dass die Reibungshysterese des Stellglieds durch ein Absenken der Chopperfrequenz vermindert wird. Insgesamt kann durch die Beeinflussung der Zeitdauer des Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals die erfindungsgemäße Regelung des Stroms durch das Stellglied wesentlich verbessert werden.

Durch die Ditherfunktion wird eine weitere Verbesserung dieser Regelung erreicht. Insbesondere wird der bewegliche Eisenkern des Stellglieds mit Hilfe der niederfrequenten Schwingung des PWM-Signals daran gehindert, in einen Zustand einer Haftreibung überzugehen. Es kann also der Eisenkern durch die Ditherfunktion fortlaufend in einem

Zustand der Gleitreibung gehalten und damit eine minimale Hysterese des Stellglieds erreicht werden.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei der Ditherfunktion  
5 jedem Puls des PWM-Signals ein Ditherwert hinzuaddiert oder  
subtrahiert wird. Die Zeitdauer, während der den Pulsen des  
PWM-Signals der Ditherwert hinzuaddiert wird, ist dabei  
vorzugsweise gleich der Zeitdauer, während der den Pulsen  
der Ditherwert abgezogen wird.

10

Dies bringt den Vorteil mit sich, dass die Ditherfunktion  
insgesamt keinen Einfluss auf den mittleren Strom hat, der  
durch das Stellglied fließt.

15 Bei einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der  
Erfindung ergeben die beiden Zeitdauern eine gesamte  
Zeitdauer, die ein Vielfaches der Zeitdauer eines Ein- und  
Ausschaltzyklus des PWM-Signals ist.

20 Bei einer weiteren besonders vorteilhaften Weiterbildung  
der Erfindung wird der von der Strommessschaltung  
gemessene, durch das Stellglied fließende Strom von einer  
Korrektur von der Ditherfunktion befreit wird. Besonders  
vorteilhaft ist es dabei, wenn zwei Stromwerte im  
25 Zeitabstand derjenigen Zeitdauer gemessen werden, während  
der den Pulsen des PWM-Signals der Ditherwert hinzuaddiert

oder subtrahiert wird, und dass ein Mittelwert dieser beiden gemessenen Stromwerte gebildet wird.

Durch die Mittelwertbildung der beiden, in dem genannten  
5 Zeitabstand gemessenen Stromwerte wird gewährleistet, dass die hinzuaddierten bzw. subtrahierten Ditherwerte sich gerade auslöschen. Auf diese Weise wird erreicht, dass die Ditherfunktion keinerlei Einfluss auf die Regelung des Stroms durch das Stellglied hat.

10

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird von einer Diagnose aus den gemessenen Ein- und Ausschaltzeitpunkten des ersten Schalters der Strom durch das Stellglied ermittelt, und es wird von der Diagnose  
15 dieser ermittelte Strom mit dem von der Strommessschaltung gemessenen Strom und/oder mit dem Sollwert verglichen.

Dies ermöglicht eine redundante Überprüfung der gesamten erfindungsgemäßen Regelung des Stroms durch das Stellglied.

20 Es ist also nicht nur möglich, den gemessenen Strom mit dem Sollwert zu vergleichen, sondern es kann zusätzlich auch der aus den Ein- und Ausschaltzeitpunkten ermittelte Strom mit dem gemessenen Strom und/oder mit dem Sollwert verglichen werden. Es besteht damit die Möglichkeit, auf  
25 Kurzschlüsse und Stromabweichungen, die durch Fehlfunktionen bedingt sind, besser reagieren zu können.

Die Erfindung kann auch in der Form eines Computerprogramms oder in der Form eines Steuergerät realisiert sein. Das Computerprogramm kann dann auf einem elektronischen Speichermedium gespeichert sein. Das Steuergerät kann insbesondere diejenigen Komponenten der Erfindung enthalten, die in Software realisiert sind. Weiterhin kann das Steuergerät all diejenigen Bauteile aufweisen, die zur Kopplung der Software mit dem Stellglied und den dazugehörigen Hardware-Bauteilen erforderlich sind.

#### Ausführungsbeispiele der Erfindung

Weitere Merkmale, Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Dabei bilden alle beschriebenen oder dargestellten Merkmale für sich oder in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung, unabhängig von ihrer Zusammenfassung in den Patentansprüchen oder deren Rückbeziehung sowie unabhängig von ihrer Formulierung bzw. Darstellung in der Beschreibung bzw. in der Zeichnung.



Figur 1 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Systems zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied,

5    Figur 2 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Regelung für das System der Figur 1, und

Figur 3 zeigt ein schematisches Zeitdiagramm des  
10    Ansteuersignals für den Strom durch das elektromagnetische Stellglied.

In der Figur 1 ist ein elektromagnetisches Stellglied 10 dargestellt, bei dem es sich beispielsweise um eine Spule  
15    mit einem darin verschiebbar angeordneten Eisenkern handeln kann. Das Stellglied 10 kann beispielsweise bei einer Getriebesteuerung eines Kraftfahrzeugs oder als ein Einspritzventil einer Brennkraftmaschine oder dergleichen eingesetzt werden.

20

Das Stellglied 10 ist über einen ersten Schalter 11 an eine Versorgungsspannung UV und über einen zweiten Schalter 12 an Masse angeschlossen. Zwischen dem Stellglied 10 und dem zweiten Schalter 12 ist eine Strommessschaltung 13  
25    zwischengeschaltet und eine Überwachung 14 angeschlossen.

Parallel zu dem Stellglied 10 und der Strommessschaltung 13 ist eine Freilaufdiode 15 geschaltet.

An den Verbindungspunkt des Stellglieds 10 und des ersten  
5 Schalters 11 ist eine Diagnoseschaltung 16 angeschlossen.  
Der Verbindungspunkt der Strommessschaltung 13 und der  
Überwachung 14 ist über einen Widerstand 17 mit der  
Versorgungsspannung UV verbunden.

10 Eine Regelung 20 wird mit der Versorgungsspannung UV, mit  
einem die Umgebungstemperatur TU darstellenden Signal und  
einem einen Sollwert SW kennzeichnenden Signal  
beaufschlagt. Ein von der Strommessschaltung 13 erzeugtes  
Signal wird von einer Korrektur 21 verarbeitet, um dann an  
15 die Regelung 20 weitergegeben zu werden. Die Regelung 20  
steuert einerseits über eine Pulsgenerierung 22 den ersten  
Schalter 11 sowie andererseits direkt den zweiten Schalter  
12 an.

20 Eine Diagnose 23 wird von Signalen beaufschlagt, die von  
der Diagnoseschaltung 16, der Strommessschaltung 13 und der  
Überwachung 14 erzeugt werden. Weiterhin liegt an der  
Diagnose 23 noch der Sollwert SW an. In Abhängigkeit davon  
kann die Diagnose 23 auf die Regelung 20 einwirken.

In der Figur 1 ist nur ein einziges Stellglied 10 dargestellt. Das dargestellte System ist dazu geeignet, den Strom durch dieses Stellglied 10 zu regeln. Es ist jedoch ebenfalls möglich, dass eine Mehrzahl von Stellgliedern 10 vorhanden sind. In diesem Fall sind diejenigen Komponenten, die in der Figur 1 zwischen den beiden gestrichelten Linien 25 angeordnet sind, in einer entsprechenden Mehrzahl vorhanden. Es sind also in diesem Fall nicht nur eine Mehrzahl von Stellgliedern 10 vorhanden, sondern auch eine Mehrzahl jeweils zugehöriger erster Schalter 11, Strommessschaltungen 13, Freilaufdioden 15 und Diagnoseschaltungen 16.

Die Mehrzahl von Stellglieder 10 werden dann parallel zueinander in derselben Art und Weise angesteuert, wie dies in der Figur 1 dargestellt und bereits erläutert worden ist. In der Figur 1 sind zu diesem Zweck diejenigen Verbindungen, die in diesem Fall mehrfach vorhanden sind, als dickere Linien dargestellt. Bei diesen Verbindungen kann es sich beispielsweise um Bus-Verbindungen handeln, bei denen jedem Stellventil 10 eine einzelne Leitung der Bus-Verbindung zugeordnet ist.

Die zwischen den beiden Linien 25 dargestellten Komponenten sind als Hardware-Bauteile ausgeführt. Die in der Figur 1 links von den Linien 25 dargestellten Komponenten sind

vorzugsweise als Software realisiert und zur Ausführung durch einen Mikroprozessor oder dergleichen vorgesehen. Zu diesem Zweck ist ein Computerprogramm vorhanden, dessen Programmbefehle dazu geeignet sind, auf dem Mikroprozessor ausgeführt zu werden. Das Computerprogramm ist vorzugsweise auf einem Flash-memory gespeichert, der zusammen mit dem Mikroprozessor in einem Steuergerät untergebracht ist. Zwischen den Hardware-Bauteilen und dem Mikroprozessor bzw. dem Steuergerät können Schnittstellen, Analog/Digital-Wandler und dergleichen vorhanden sein, die in der Figur 1 nicht dargestellt sind.

Die Regelung 20 der Figur 1 ist in der Figur 2 detaillierter dargestellt. Die Regelung 20 weist eine Vorsteuerung 31, einen I-Anteil 32 und einen P-Anteil 33 auf.

Die Vorsteuerung 31 wird von der Versorgungsspannung UV, der Umgebungstemperatur TU und dem Sollwert SW beaufschlagt. In Abhängigkeit davon erzeugt die Vorsteuerung 31 ein Signal, das einer Additionsstelle 34 zugeführt ist. Die Vorsteuerung 31 hat die Aufgabe, die von dem I-Anteil 32 und dem P-Anteil 33 auszugleichende Abweichung möglichst gering zu halten.

Ein Istwert IW wird an einer Subtraktionsstelle 35 von dem Sollwert SW abgezogen. Der Istwert IW entspricht dabei demjenigen Signal, das von der Korrektur 21 der Figur 1 erzeugt wird. Die von der Subtraktionsstelle 35 ermittelte Differenz beaufschlagt den I-Anteil 32 und den P-Anteil 33. Der P-Anteil 33 erzeugt ein Signal, das der Additionsstelle 34 zugeführt ist.

Die Erzeugung des I-Anteils 32 kann mit Hilfe zweier Schalter 36 unterbrochen werden. Zu diesem Zweck werden die beiden Schalter 36 von einem Block 37 angesteuert, der seinerseits von dem Sollwert SW beaufschlagt ist.

Durch einen fortlaufenden Vergleich zeitlich aufeinanderfolgender Werte erkennt der Block 37, ob der Sollwert SW einen Sprung ausführt, der einen vorgegebenen Maximalsprung übersteigt. Ist dies der Fall, so öffnet der Block 37 die beiden Schalter 36 und unterbricht die Erzeugung des I-Anteils 32. Der Sprung des Sollwerts SW wird dann allein von dem P-Anteil 33 geregelt. Die Dauer der Unterbrechung des I-Anteils 33 kann fest vorgegeben oder variabel gewählt sein, beispielsweise in Abhängigkeit von der Sprunghöhe des Sollwerts SW.

Wird von dem Block 37 kein Sprung erkannt, so bleiben die Schalter 36 geschlossen und der I-Anteil 32 ist aktiv. Der

I-Anteil 32 ist dann der Additionsstelle 34 zugeführt. Es wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass die Regelung 20 der Figur 2 und damit auch die Schalter 36 vorzugsweise als Software realisiert sind.

5

Die von der Additionsstelle 34 erzeugte Summe S entspricht demjenigen Signal, das von der Regelung 20 erzeugt und der Pulsgenerierung 22 zugeführt wird.

10 Das in der Figur 1 dargestellt System zum Regeln des Stroms durch das/die Stellglied/er 10 funktioniert wie folgt:

Der Strom über das Stellglied 10 wird mit Hilfe des ersten Schalters 11 eingestellt. Der erste Schalter 11 wird zu  
15 diesem Zweck mit einem PWM-Signal (PWM = Pulsweitenmodulation) beaufschlagt. Der zweite Schalter 12 ist im normalen Betrieb geschlossen.

Ein derartiges PWM-Signal ist beispielhaft in der Figur 3  
20 über der Zeit t aufgetragen. Das PWM-Signal unterscheidet nur zwischen einem eingeschalteten Zustand („1“), in dem der erste Schalter 11 geschlossen ist, und einem ausgeschalteten Zustand („0“), in dem der erste Schalter 11 geöffnet ist. Bei geschlossenem erstem Schalter 11 fließt  
25 ein Strom von der Spannungsversorgung UV über den ersten Schalter 11, das Stellglied 10, die Strommessschaltung 13

und den geschlossenen zweiten Schalter 12 nach Masse. Bei geöffnetem erstem Schalter 11 fließt kein derartiger Strom. Durch eine Variation der Ein- und Ausschaltzeitdauern des PWM-Signals kann somit der durch das Stellglied 10

5 fließende Strom beeinflusst werden.

Das PWM-Signal wird von der Pulsgenerierung 22 in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal der Regelung 20 erzeugt. Insbesondere wird von der Pulsgenerierung 22 das  
10 Ausgangssignal der Regelung 20 in ein PWM-Signal umgesetzt, dessen Verhältnis der Ein- und Ausschaltzeitdauern der Größe des Ausgangssignal entspricht.

Die Zeitdauer TC eines Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals entspricht der sogenannten Chopperfrequenz des PWM-Signals. Die Regelung 20 und/oder die Pulsgenerierung 22  
15 können diese Zeitdauer TC variabel verändern. Sind eine Mehrzahl von Stellgliedern 10 vorhanden, so können deren Zeitdauern TC unabhängig voneinander und variabel verändert  
20 werden.

Um zu gewährleisten, dass die Ein- und/oder Ausschaltzeitpunkte der zu den verschiedenen Stellgliedern 10 zugehörigen ersten Schalter 11 möglichst nicht  
25 gleichzeitig auftreten, werden die einzelnen Stellglieder 10 phasenversetzt angesteuert. Durch eine Variation der

Zeitdauern TC kann diese Phasenbeziehung derart beeinflusst werden, dass möglichst wenig Schaltflanken aufeinander fallen.

- 5 Die Veränderung der Zeitdauern TC und damit der Chopperfrequenz kann auch dazu verwendet werden, eine Reduktion des sogenannten Sitzprellens des Stellglieds 10 durch eine kleinere Hubamplitude des verschiebbaren Eisenkerns bei einer größeren Chopperfrequenz zu erreichen.
- 10 Durch eine geringere Chopperfrequenz kann insbesondere in einem mittleren Strombereich die Hysterese des Stellglieds 10 vermindert werden. Die Chopperfrequenz kann derart temperaturabhängig eingestellt werden, dass bei tieferen Temperaturen die Chopperfrequenz vermindert wird, so dass
- 15 eine bei tieferen Temperaturen vorhandene Reibungshysterese des Stellglieds 10 vermindert wird.

- Die Regelung 20 und/oder die Pulsgenerierung 22 können eine sogenannte Ditherfunktion durchführen, bei der es sich um
- 20 eine niederfrequente Schwingungsüberlagerung für den Strom durch das Stellglied 10 handelt. Dabei wird zu dem an sich ermittelten PWM-Signal ein vorgebbbarer Ditherwert DW hinzuaddiert oder subtrahiert. Diese Ditherfunktion kann für eine Mehrzahl von Stellgliedern 10 unabhängig
- 25 voneinander und variabel ausgeführt werden.



Für ein einzelnes Stellglied 10 ist dies in der Figur 3 dadurch dargestellt, dass die einzelnen Pulse des PWM-Signals zuerst um den Ditherwert DW verlängert und danach verkürzt sind. Die Zeitdauer T1, in der die einzelnen Pulse verlängert werden, ist gleich der Zeitdauer T2, in der die Pulse verkürzt werden. Die sich aus den beiden vorgenannten Zeitdauern T1, T2 additiv ergebende, gesamte Zeitdauer TD der Ditherfunktion ist ein Vielfaches der Zeitdauer TC der Chopperfrequenz. Im vorliegenden Fall ist die Zeitdauer TD das Zehnfache der Zeitdauer TC.

Ergänzend ist es möglich, durch eine Veränderung der zeitlichen Länge des Ditherwerts DW auch die Amplitude der Ditherfunktion zu variieren.

15

Mit Hilfe der Ditherfunktion kann insbesondere verhindert werden, dass der bewegliche Eisenkern des angesteuerten Stellglieds 10 in den Zustand einer Haftreibung übergeht. Es kann also der Eisenkern durch die Ditherfunktion fortlaufend in einem Zustand der Gleitreibung gehalten und damit eine minimale Hysterese des Stellglieds 10 erreicht werden.

Die Regelung 20 wird in vorgegebenen zeitlichen Abständen angestoßen und entsprechend der Anzahl der vorhandenen Stellglieder 10 ausgeführt. Es werden für alle vorhandenen

Stellglieder 10 entsprechende Ausgangssignale von der  
Regelung 20 an die Pulsgenerierung 22 weitergegeben, die  
dann fortlaufend die jeweils zugehörigen PWM-Signale für  
die verschiedenen Stellglieder 10 erzeugt, mit denen  
5 schließlich die zu den verschiedenen Stellgliedern 10  
jeweils zugehörigen ersten Schalter 11 angesteuert werden.

Der auf diese Weise über die verschiedenen Stellglieder 10  
fließende Strom wird von der jeweils zugehörigen  
10 Strommessschaltung 13 gemessen. Bei der Strommessschaltung  
kann es sich dabei vorzugsweise um einen sogenannten Shunt-  
Widerstand handeln. Der gemessene Stromwert wird an die  
Korrektur 21 weitergegeben, wo die von der Regelung 20 bzw.  
der Pulsgenerierung 22 eingeführte Ditherfunktion wieder  
15 herausgerechnet wird. Damit wird erreicht, dass die  
Ditherfunktion keinerlei Einfluss auf die Regelung 20 hat.

Die Ditherfunktion kann in der Korrektur 21 beispielsweise  
dadurch kompensiert werden, dass aus zwei im Zeitabstand  
20 der Zeitdauer  $T_1$  gemessenen Stromwerte der Mittelwert  
gebildet wird. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen der  
Zeitdauer  $T_D$  der Ditherfunktion und der Zeitdauer  $T_C$  der  
Chopperfrequenz ist in dem vorgenannten Mittelwert die  
Ditherfunktion und insbesondere der Ditherwert  $DW$  nicht  
25 mehr enthalten.

Wie bereits erläutert wurde, wird von der Korrektur 21 der gemessene und von der Ditherfunktion befreite Stromwert an die Regelung 20 als Istwert IW weitergegeben.

- 5 Der gemessene Stromwert wird von der Strommessschaltung 13 auch an die Diagnose 23 weitergegeben. Dort wird der gemessene Stromwert mit dem Sollwert SW verglichen. Bei einer Abweichung, die einen vorgebbaren Maximalwert übersteigt, kann die Diagnose 23 über die Regelung 20  
10 entweder korrigierend eingreifen oder den Strom durch das betreffende Stellglied 10 oder gar für alle vorhandenen Stellglieder 10 abschalten.

- Das zwischen dem/den Stellglied/ern 10 und dem zweiten  
15 Schalter 12 vorhandene Potential wird von der Überwachung 14 überwacht und an die Diagnose 23 weitergegeben. Ist dieses Potential fehlerhaft, liegt insbesondere ein Kurzschluss zu der Versorgungsspannung UV vor, so wird der zweite Schalter 12 von der Diagnose 23 über die Regelung 20  
20 unverzüglich geöffnet, so dass kein Strom mehr über das/die Stellglied/er 10 fließen kann.

- Das zwischen dem/den Stellglied/ern 10 und dem ersten Schalter 11 vorhandene Potential wird von der  
25 Diagnoseschaltung 16 überwacht und an die Diagnose 23 weitergegeben. Ist dieses Potential fehlerhaft, liegt

insbesondere ein Kurzschluss nach Masse vor, so wird der erste Schalter 11 von der Diagnose 23 über die Regelung 20 unverzüglich bleibend geöffnet, so dass kein Strom mehr über das/die Stellglied/er 10 fließen kann.

5

Weiterhin erkennt die Diagnoseschaltung 16 diejenigen Zeitpunkte, in denen der/die erste/n Schalter 11 geöffnet und geschlossen wird/werden. Aus diesen gemessenen Zeitpunkten kann von der Diagnose 23 der jeweilige Stromwert ermittelt werden, der durch das zugehörige Stellglied 10 fließt. Dieser ermittelte Stromwert wird mit dem von der Strommessschaltung 13 gemessenen Stromwert und/oder mit dem Sollwert SW verglichen. Wird von der Diagnose 23 eine Abweichung festgestellt, die größer ist als ein vorgegebener Maximalwert, so kann wiederum der Strom durch das zugehörige Stellglied 10 oder durch alle vorhandenen Stellglieder 10 über die Regelung 20 abgeschaltet werden.

10

15

20

Insgesamt wird auf diese Weise der durch das Stellglied 10 fließende Strom mehrfach und damit redundant überwacht. Dies gilt auch bei einer Mehrzahl von vorhandenen Stellgliedern 10.

25

Vor dem ersten Betrieb des in der Figur 1 gezeigten Systems zum Regeln des Stroms durch das/die Stellglied/er 10, also

insbesondere während einer Initialisierung des Systems, ist der zweite Schalter 12 noch geöffnet, so dass kein Strom über das/die Stellglied/er 10 fließt. Das Potential zwischen dem/den Stellglied/ern 10 und dem zweiten Schalter 12 kann somit an sich nicht ermittelt werden.

Dies wird jedoch mit Hilfe des Widerstands 17 ermöglicht. Der Widerstand 17 ist dabei nur einmalig vorhanden und weist einen eher großen Widerstandswert auf. Aufgrund des Widerstands 17 kann das Potential zwischen dem/den Stellglied/ern 10 und dem zweiten Schalter 12 von der Überwachung 14 ermittelt und somit ein Kurzschluss zur Versorgungsspannung UV oder nach Masse festgestellt werden.

Abweichend von der Figur 1 ist es alternativ möglich, dass das PWM-Signal den zweiten Schalter beaufschlagt und der erste Schalter im normalen Betrieb fortlaufend geschlossen bleibt. Die Diagnoseschaltung ist in diesem Fall dem zweiten Schalter und die Überwachung dem ersten Schalter zugeordnet. Ansonsten sind jedoch die variable Chopperfrequenz und die Ditherfunktion in gleicher Weise anwendbar, wie dies in der Figur 1 beschrieben ist.

## 5 Ansprüche

1. Verfahren zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied (10), wobei das Stellglied (10), ein erster Schalter (11) und eine Strommessschaltung (13) eine Serienschaltung bilden, wobei dem Stellglied (10) eine Freilaufdiode (15) parallelgeschaltet ist, und wobei der erste Schalter (11) von einer Regelung (20) und einer Pulsgenerierung (22) mittels eines PWM-Signals (PWM = Pulsweitenmodulation) derart geschlossen und geöffnet wird, dass der von der Strommessschaltung (13) gemessene, durch das Stellglied (10) fließende Strom auf einen Sollwert (SW) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer (TC) eines Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals verändert wird, und dass dem PWM-Signal eine sogenannte Ditherfunktion in der Form einer niederfrequenten Schwingung überlagert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ditherfunktion jedem Puls des PWM-Signals ein Ditherwert (DW) hinzuaddiert oder subtrahiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer (T1), während der den Pulsen des PWM-Signals der Ditherwert (DW) hinzuaddiert wird, gleich ist der Zeitdauer (T2), während der den Pulsen der Ditherwert (DW) abgezogen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Zeitdauern (T1, T2) eine gesamte Zeitdauer (TD) ergeben, die ein Vielfaches der Zeitdauer (TC) eines Ein- und Ausschaltzyklus des PWM-Signals ist.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der von der Strommessschaltung (13) gemessene, durch das Stellglied (10) fließende Strom von einer Korrektur (21) von der Ditherfunktion befreit wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5 und Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Stromwerte im Zeitabstand derjenigen Zeitdauer (T1) gemessen werden, während der den Pulsen des PWM-Signals der Ditherwert (DW) hinzuaddiert oder subtrahiert wird, und dass ein Mittelwert dieser beiden gemessenen Stromwerte gebildet wird.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass von einer Diagnose (23) aus den gemessenen Ein- und Ausschaltzeitpunkten des ersten Schalters (11) der Strom durch das Stellglied (10)

ermittelt wird, und dass von der Diagnose (23) dieser ermittelte Strom mit dem von der Strommessschaltung (13) gemessenen Strom und/oder mit dem Sollwert (SW) verglichen wird.

5 8. Computerprogramm mit Programmbefehlen, die dazu geeignet sind, das Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen, wenn sie auf einem Computer, insbesondere einem Mikroprozessor ausgeführt werden.

9. Computerprogramm nach Anspruch 8, gekennzeichnet durch  
10 dessen Speicherung auf einem elektronischen Speichermedium, insbesondere auf einem Flash-Memory.

10. Steuergerät zum Regeln des Stroms durch ein elektromagnetisches Stellglied (10), wobei das Stellglied (10), ein erster Schalter (11) und eine Strommessschaltung (13) eine Serienschaltung bilden, wobei dem Stellglied (10) eine Freilaufdiode (15) parallelgeschaltet ist, und wobei  
15 das Steuergerät eine Regelung (20) und eine Pulsgenerierung (22) aufweist, von denen der erste Schalter (11) mittels eines PWM-Signals (PWM = Pulsweitenmodulation) derart  
20 geschlossen und geöffnet wird, dass der von der Strommessschaltung (13) gemessene, durch das Stellglied (10) fließende Strom auf einen Sollwert (SW) geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät dazu geeignet ist, die Zeitdauer (TC) eines Ein- und Ausschaltzyklus des  
25 PWM-Signals zu verändern und dem PWM-Signal eine sogenannte



Ditherfunktion in der Form einer niederfrequenten Schwingung zu überlagern.

11. Steuergerät nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch dessen Verwendung in einem Kraftfahrzeug, insbesondere bei
- 5 einer Getriebesteuerung eines Kraftfahrzeugs.

1 / 3

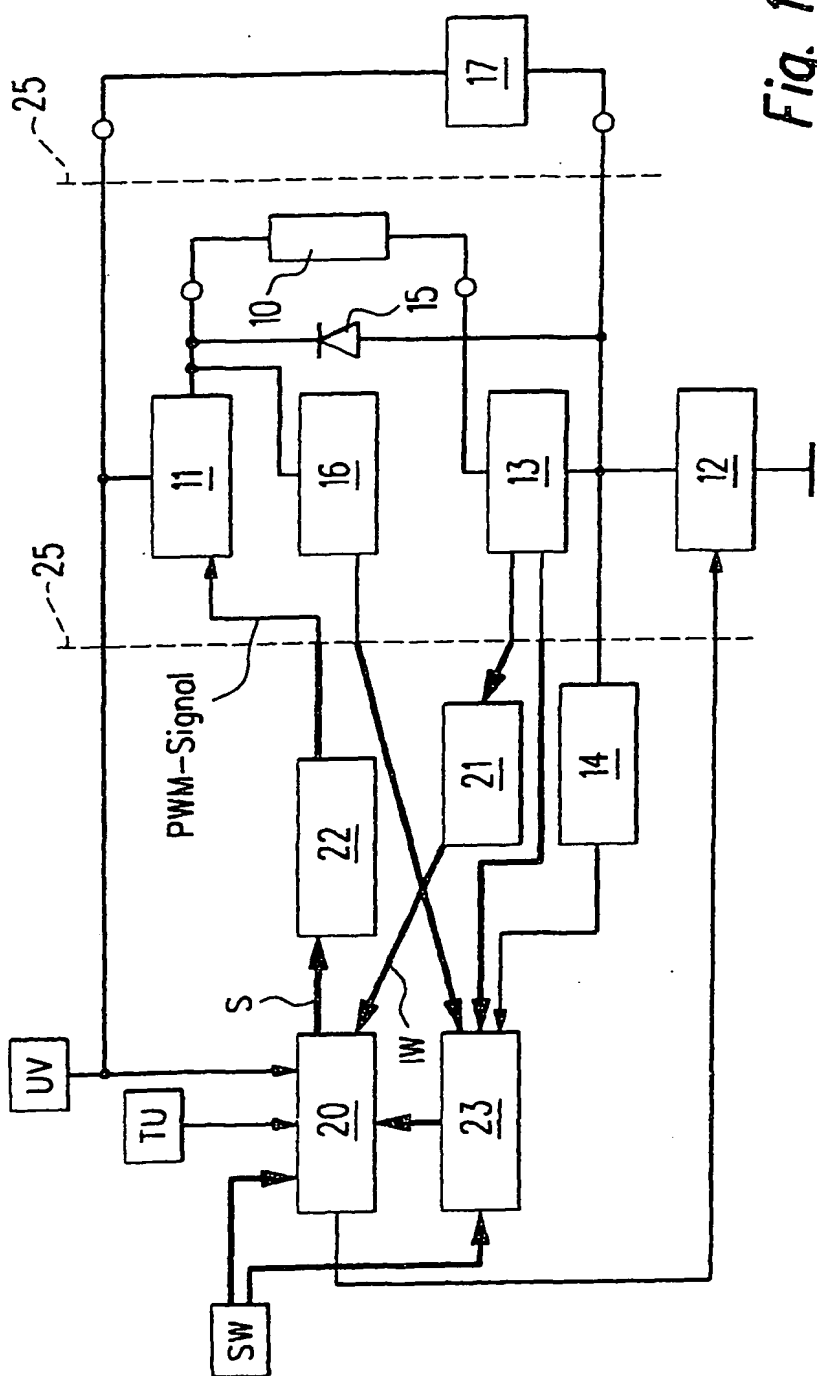


Fig. 1

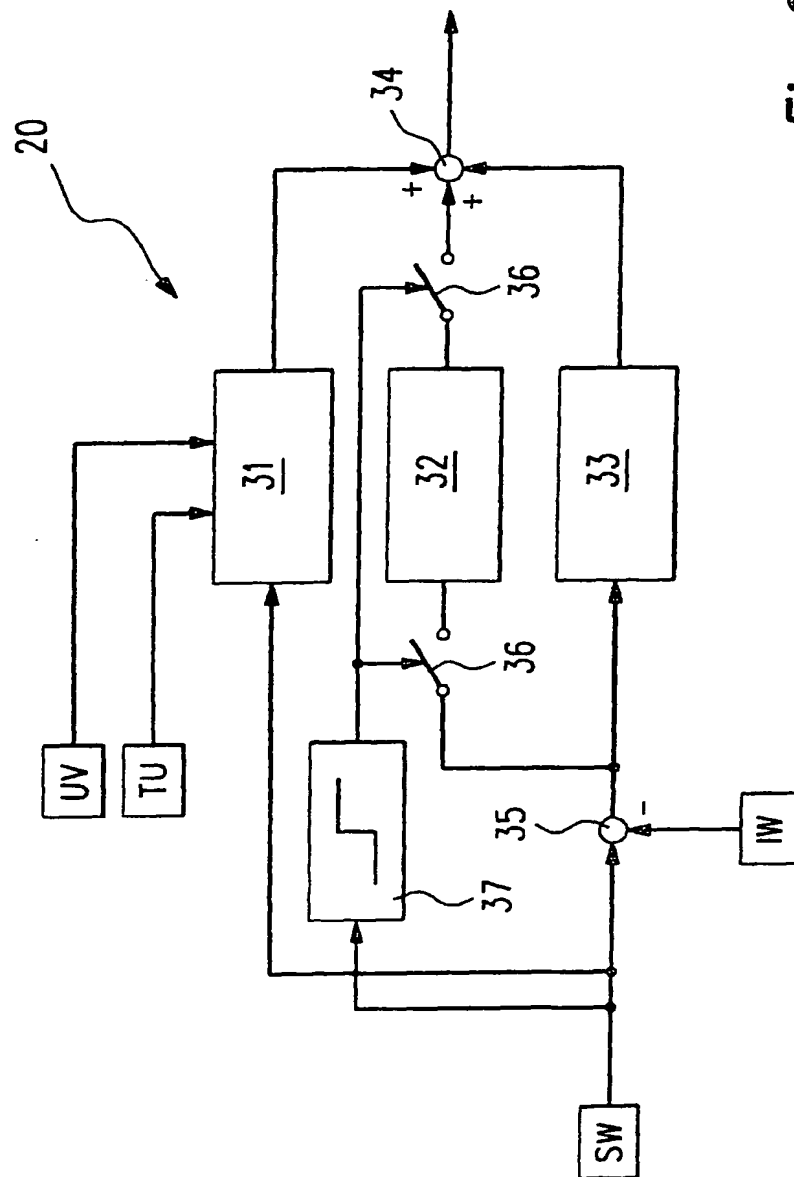


Fig. 2

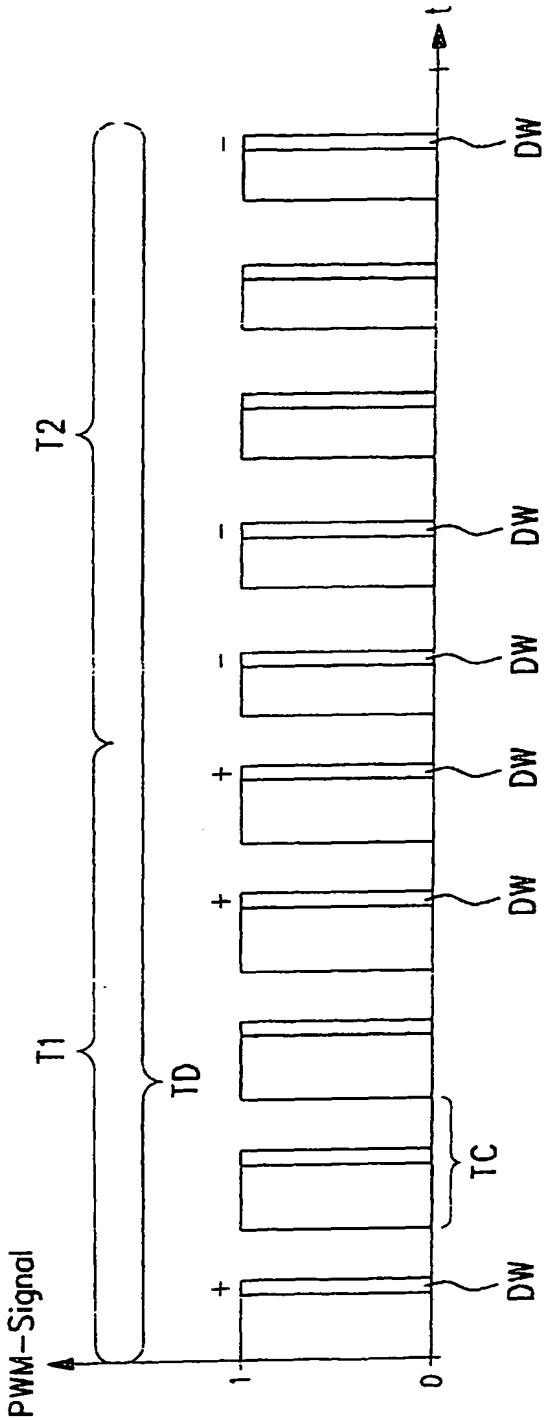


Fig. 3

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G05B19/042

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 199 41 488 A (BOSCH GMBH ROBERT) 15 March 2001 (2001-03-15) abstract; figure 1 ---	1-4, 8-11
Y	US 5 924 703 A (ICHIMARU NOBUYUKI) 20 July 1999 (1999-07-20) column 1, line 35 - line 51 column 3, line 40 - column 4, line 33 column 6, line 26 - line 33 column 9, line 39 - column 42 -----	1-4, 8-11

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 October 2003

Date of mailing of the international search report

10/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Messelken, M

Patent document cited in search report			Publication date			Patent family member(s)			Publication date		
DE 19941488			A			15-03-2001			DE 19941488 A1		
						WO 0117086 A1			15-03-2001		
									08-03-2001		
US 5924703			A			20-07-1999			JP 10166828 A		
									23-06-1998		
									DE 19754671 A1		
									25-06-1998		

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G05B19/042

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RESEARCHIERTE GEBIETE**Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 199 41 488 A (BOSCH GMBH ROBERT) 15. März 2001 (2001-03-15) Zusammenfassung; Abbildung 1 ----	1-4,8-11
Y	US 5 924 703 A (ICHIMARU NOBUYUKI) 20. Juli 1999 (1999-07-20) Spalte 1, Zeile 35 - Zeile 51 Spalte 3, Zeile 40 - Spalte 4, Zeile 33 Spalte 6, Zeile 26 - Zeile 33 Spalte 9, Zeile 39 - Spalte 42 -----	1-4,8-11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&amp;\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Oktober 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/11/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Messelken, M

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19941488	A	15-03-2001	DE WO	19941488 A1 0117086 A1	15-03-2001 08-03-2001
US 5924703	A	20-07-1999	JP DE	10166828 A 19754671 A1	23-06-1998 25-06-1998